

JP 2006-351233 A 2006.12.28

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-351233

(P2006-351233A)

(43) 公開日 平成18年12月28日(2006.12.28)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
H05H	7/22	(2006.01)	H05H	7/22
H05H	9/00	(2006.01)	H05H	9/00
H05H	9/04	(2006.01)	H05H	9/04

2 G O 8 5

B

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2005-172476 (P2005-172476)

(22) 出願日 平成17年6月13日 (2005.6.13)

(71) 出願人 301032942

独立行政法人放射線医学総合研究所

千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号

(74) 代理人 100082005

弁理士 熊倉 禎男

(74) 代理人 100067013

弁理士 大塚 文昭

(74) 代理人 100074228

弁理士 今城 俊夫

(74) 代理人 100086771

弁理士 西島 孝喜

(72) 発明者 岩田 佳之

千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号

独立行政法人放射線医学総合研究所内

最終頁に続く

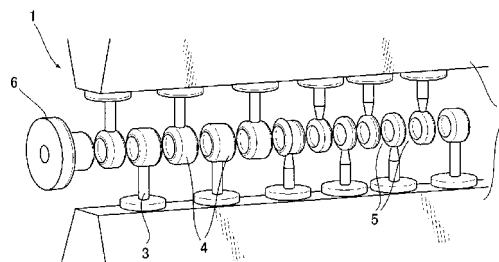
(54) 【発明の名称】 Hモード・ドリフトチューブ線形加速器

(57) 【要約】

【課題】 Hモード・ドリフトチューブ線形加速器において、共振器の入射部の最初の数個のギャップ電圧を上げる。

【解決手段】 共振器の入射部のドリフトチューブの外径を大きくすること、入射部のドリフトチューブの内径を小さくすること及び入射部のドリフトチューブの曲率半径を小さくすることの何れかの組み合わせによって入射部のドリフトチューブ間の容量を増やし、それによって入射部の最初の数個のギャップ電圧を上げる。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

共振器内部に発生するＴＥ波（Ｈモード）を利用したＨモード・ドリフトチューブ線形加速器において、共振器の入射部容量を増やすことによって入射ドリフトチューブ間のギャップ電圧を高くするように設計されたことを特徴とするＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

【請求項 2】

前記Ｈモード・ドリフトチューブ線形加速器が、共振器の内部に対向方向から交互に取り付けられた一連のドリフトチューブによって粒子を加速するＩＨ型線形加速器であることを特徴とする請求項 1 に記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

10

【請求項 3】

前記Ｈモード・ドリフトチューブ線形加速器が、共振器の内部に十字状方向から交互に取り付けられた一連のドリフトチューブによって粒子を加速するＣＨ型線形加速器であることを特徴とする請求項 1 に記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

【請求項 4】

前記入射部のドリフトチューブ間の容量は、入射部のドリフトチューブ間の容量であることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

【請求項 5】

前記入射部のドリフトチューブ間の容量は、入射部のドリフトチューブの外径、内径又は形状を変更することにより増やしたことを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 つに記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

20

【請求項 6】

前記入射部のドリフトチューブ間の容量は、入射部のドリフトチューブの外径を大きくすること、入射部のドリフトチューブの内径を小さくすること及び入射部のドリフトチューブの曲率半径を小さくすることの何れかによって、あるいはそれら何れかの組み合わせによって増やしたことを特徴とする請求項 5 に記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

【請求項 7】

前記共振器はＡＰＦ収束法を採用したことを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 つに記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

30

【請求項 8】

前記入射部のドリフトチューブ間のギャップ電圧は、入射部の最初の数個のギャップにおけるギャップ電圧であることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 つに記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

【請求項 9】

入射面と出射面で形状が異なるドリフトチューブを設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 つに記載のＨモード・ドリフトチューブ線形加速器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【０００１】

本発明は、共振器内部に発生するＴＥ波（Ｈモード）を利用したＨモード・ドリフトチューブ線形加速器に関する。

【背景技術】

【０００２】

Ｈモード・ドリフトチューブ線形加速器

ビーム軸に対し垂直に電流が流れるＴＥ波（Ｈモード）を利用して荷電粒子を加速する線形加速器をＨモード・ドリフトチューブ線形加速器と呼ぶ。Ｈモード・ドリフトチューブ線形加速器では、そのビーム軸に沿って多数のドリフトチューブが配列されており、それぞれ隣り合うドリフトチューブ間のギャップに所定の電圧が発生していて、粒子がドリ

50

フトチューブの中を通過するたびにその電圧により次々と加速されるようになっている。

【0003】

I H 型線形加速器について

H モード・ドリフトチューブ線形加速器のうち、Interdigital H-mode (I H) 型共振器を用いた線形加速器を I H 型線形加速器と呼ぶ。図 3 に示すように、代表的な I H 型共振器 1 は円筒形の共振器内部に上下 (対向方向に) 2 枚のリッジ 2 と呼ばれる板が取り付けられている構造を持つ (リッジはなくても良い)。これらのリッジ 2 には、ステム 3 を介して複数のドリフトチューブ 4 が上下交互に取り付けられて軸方向に配列されている。粒子はこれらのドリフトチューブ 4 の中を通過して軸方向に進む。

【0004】

C H 型線形加速器について

H モード・ドリフトチューブ線形加速器のうち、Crossbar H-mode (C H) 型共振器を用いた線形加速器を C H 型線形加速器と呼ぶ。図 16 に示すように、代表的な C H 型共振器 10 は円筒形の共振器内部にドリフトチューブが十字状かつ交互に取り付けられている。粒子はこれらのドリフトチューブ中を通過して軸方向に進み、ドリフトチューブ間の電場により次々と加速されてゆく。

【0005】

それら共振器内部に、所定の周波数の高周波電力を投入すると共振が起こり、ドリフトチューブとドリフトチューブとの間のギャップ 5 に電圧 (電場) が発生する。このギャップ 5 に発生した電場により粒子はギャップを超えるごとに次々と加速される。

【0006】

この I H 型線形加速器及び C H 型線形加速器の原理は 50 年代に開発されていたが、近年まで実用化されていなかった。その大きな理由は、I H 型共振器の電圧分布が共振器全体の構造で決定されるため、当時の 2 次元電磁場計算コードでは計算不可能であったためである。そのため、スケールモデルなどを製作して、電圧分布を調べる必要があった。これらの作業は膨大な時間や費用がかかる。しかしながら、近年の計算技術の発展により 3 次元電磁場計算コードが開発され、I H 型共振器の電磁場分布が直接計算できるようになってきた。これに伴い、I H 型共振器の設計が比較的容易となったため、最近ドイツ G S I (ドイツ連邦共和国重イオン科学研究所) など実用化が始まりつつある。

【0007】

共振器設計における問題点

H モード・ドリフトチューブ線形加速器の共振器設計において最も重要なのが、ギャップに発生する電圧 (電場) 分布が設計通りに得られるかどうかである。設計通りの電圧分布が得られないとビームは正しく加速されず、多くの粒子は加速途中でドリフトチューブ内壁などに衝突して失われてしまう。

【0008】

粒子を加速するにあたり、ギャップに発生する電圧は高いほど短い距離で目的のエネルギーまで加速することができる。しかしながら、電圧を上げすぎると放電が起こるため、むやみに高い電圧を発生することはできない。放電限界電圧はドリフトチューブの表面状態や形状など多くの要素で決まるが、半経験的な指標がある。電圧分布の設計では、その放電限界を与える指標を超えない範囲で、なるべく高くするよう電圧分布を設定する。

【0009】

次に I H 型共振器の設計における共振器構造の工夫を説明する。まず問題となるのが入射部の電圧分布の調整である。I H 型共振器では、入射部の最初の数個のギャップの電圧が設計値より低下してしまい、思うように電圧分布の調整ができない。特に収束方式として Alternating Phase Focusing (A P F) を採用した共振器では顕著である。

【0010】

ドリフトチューブ線形加速器では入力される高周波によってギャップ間に電圧を発生させ、粒子を加速している。そのため、ギャップ間電圧は周期的に変化する。同期粒子がギャップ中央に来た際の位相を同期位相と呼ぶが、同期位相の選び方により粒子は収束及び

10

20

30

40

50

発散の作用を受ける。具体的には正（負）の同期位相はビーム軸成分に発散（収束）、ビーム軸と垂直な成分に収束（発散）を受ける。従って同期位相の符号を数セル（ドリフトチューブの中心から次のドリフトチューブの中心までをセルと呼ぶ。）周期で振動的に変化させることでビーム軸成分及びビーム軸と垂直な成分両方の収束を得ることができる。このようにしてビームが出射されるまで全体の収束を試みようというのが A P F 収束方式である。

【 0 0 1 1 】

入射部電圧分布

A P F 収束方式の I H 型線形加速器においては、上述したように、入射部の最初の数個のギャップの電圧が下がる現象が見られる。図 1 は、72 個のギャップを有する I H 型線形加速器すなわち 72 ギャップモデルの電圧分布を示したものである。図 1 において、縦軸は、ギャップ電圧（M V）を示し、横軸は、ギャップ番号を示している。また、図 1 において、曲線 A は、軌道計算で求められたギャップ電圧をプロットしたものであり、この曲線 A が上述した設計された電圧分布を示す。他方、曲線 B は、3 次元電磁場計算で得られたギャップ電圧をプロットしたものであり、この曲線 B が共振器の設計のための計算された電圧分布を示す。図 1 に示されているように、電圧分布全体を軌道計算で求められた電圧分布に合わせるように共振器径 r （図 3 参照）を調節すると、入射部の最初の数個のギャップの電圧が下がってしまう。この場合、アクセプタンス低下などの弊害が予想されるため、可能な限り修正する必要がある。

【 0 0 1 2 】

図 2 の曲線 D は、図 1 における軌道計算で求められた電圧分布と 3 次元電磁場計算で得られた電圧分布との各ギャップにおける電圧差をプロットしたものである。図 2 において、縦軸は、電圧差を示しており、この電圧差は、3 次元電磁場計算で得られた電圧と軌道計算で求められた電圧との差の、軌道計算で求められた電圧に対する比を百分率で示したものである。すなわち、電圧差 = (3 次元電磁場計算で得られた電圧 - 軌道計算で求められた電圧) / 軌道計算で求められた電圧 (%) である。また、図 2 の横軸は、ギャップ番号を示している。図 2 を参照すると、第 1 ギャップから第 7 ギャップまでの間において最大 60 % まで低下していることが分かる。

【 0 0 1 3 】

原因

I H 型線形加速器における容量成分はギャップに集中している。そのため、電圧分布は主に、ギャップ容量により決定されると考えて良い。現在のセルテーブルにおいてギャップ長は単調増加している。ギャップ容量 C は、ギャップ長 g とドリフトチューブの実効断面積 S を用いて $C = S / g$ のように書ける。よってギャップ容量は分数関数的に減少するため、電圧分布も同様に分数関数的な振る舞いをする事が予想される。

【 0 0 1 4 】

しかしながら A P F 収束方式の I H 型線形加速器ではドリフトチューブ長が図 3 に示すように増減する。これは、同期位相の選び方に依存している。図 3 の場合では、第 10 ギャップ付近でドリフトチューブ長が最も短くなっていることがわかる。

【 0 0 1 5 】

ドリフトチューブが短い場合、

(1) ギャップが集中するので、局所的容量が大きくなる

(2) ドリフトチューブ間の容量は、対向するチューブ断面だけでなくステムの一部が見えるため、大きくなる

(3) ステムの支持台が密になるため、リッジ間の容量も増加するという現象が起きる。

【 0 0 1 6 】

以上から、予想されるドリフトチューブ間の容量分布は (1) 分数関数の分布と (2) チューブ長の増減による分布の掛け合わせのようになる。よって総合的な容量分布及び電圧分布は図 4 に示したように入射部に偏り、且つ増減のある分布となることが予想される

10

20

30

40

50

。図 4 において、(A) は分数関数の容量分布を示し、(B) はチューブ長の増減による容量分布を示し、(C) はこれらの容量分布を掛け合わせた総合的な容量分布を示している。また、これらのグラフにおいて、縦軸は、ギャップ容量 (C_{gap})、ドリフトチューブ間容量 (C_{DT})、総合的な容量 (C_{total}) をそれぞれ示し、横軸は、セル番号 (cell #) を示している。

【0017】

入射電圧分布の改善

入射部のギャップ電圧を上げるため、以下の方法が考えられる。

(1) 入射部のリッジ 2 に切り欠きを入れる

(2) 入射端のドリフトチューブ 6 を長くし、入射単板 7 とリッジ 2 との間の距離を取る 10

(3) 入射部に容量性チューナーを設ける

(4) 入射部のみリッジ間の容量を大きくする (リッジ間隔を短くする等)

【0018】

先ず (1) と (2) では、入射部付近を周回する磁束を調整することができる。しかしながら前述のように電圧分布は主に容量分布により決定されているので、入射部の最初の数個のギャップの電圧のみを上げることはできない。実際、3次元電磁場計算をしてみると、電圧分布の形状を保ったまま入射部全体の分布が増減する結果となる。

【0019】

次に (3) の容量性チューナーに関しても入射部全体の容量のみが増減してしまい、入射部の最初の数個のギャップのみの電圧を調整することは不可能である。同様な理由で (4) も有効でない。 20

【0020】

【非特許文献 1】畑寿起、外 7 名、“重イオン用 APF - IH 型線形加速器の研究 (II)” Proceeding of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan (2001) 186-188

【非特許文献 2】山本和男、外 6 名、“低エネルギー入射小型 APF - IH 型線形加速器に関する研究” Proceeding of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan (2002)

【0021】

以上 IH 型共振器の設計にける共振器構造の工夫を説明したが、CH 型共振器の設計も同様である。 30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

本発明の目的は、H モード・ドリフトチューブ線形加速器、特に IH 型線形加速器及び CH 型線形加速器の設計において入射部のギャップ電圧を設計電圧通りとなるように調整することであって、そのように調整した H モード・ドリフトチューブ線形加速器を提供することである。特に、本発明の目的は、入射部の最初の数個のギャップの電圧のみを上げることによって電圧分布の調整を行うことであり、そのように調整した H モード・ドリフトチューブ線形加速器を提供することである。

【課題を解決するための手段】 40

【0023】

本発明によれば、共振器内部に発生する TE 波 (H モード) を利用した H モード・ドリフトチューブ線形加速器において、共振器の入射部容量を増やすことによって入射ドリフトチューブ間のギャップ電圧を高くするように設計されたことを特徴とする H モード・ドリフトチューブ線形加速器が提供される。

【0024】

前記 H モード・ドリフトチューブ線形加速器は、共振器の内部に対向方向から交互に取り付けられた一連のドリフトチューブによって粒子を加速する IH 型線形加速器であってもよい。

【0025】

前記 H モード・ドリフトチューブ線形加速器は、共振器の内部に十字状方向から交互に取り付けられた一連のドリフトチューブによって粒子を加速する C H 型線形加速器であってもよい。

【 0 0 2 6 】

前記入射部のドリフトチューブ間の容量は、入射部のドリフトチューブの容量であってもよい。

【 0 0 2 7 】

前記入射部のドリフトチューブ間の容量は、入射部のドリフトチューブの外径、内径又は形状を変更することにより増やしてもよい。

【 0 0 2 8 】

前記入射部のドリフトチューブ間の容量は、入射部のドリフトチューブの外径を大きくすること、入射部のドリフトチューブの内径を小さくすること及び入射部のドリフトチューブの曲率半径を小さくすることの何れかによって、あるいはそれら何れかの組み合わせによって増やしてもよい。

【 0 0 2 9 】

前記共振器は A P F 収束法を採用したものであってもよい。

【 0 0 3 0 】

前記入射部のドリフトチューブ間のギャップ電圧は、入射部の最初の数個のギャップにおけるギャップ電圧であってもよい。

【 0 0 3 1 】

入射面と出射面で形状が異なるドリフトチューブを設けてもよい。

【発明の効果】

【 0 0 3 2 】

本発明によれば、シャント抵抗及び Q を低下させることなく共振器の入射電圧分布、特に、入射部の最初の数個のギャップ電圧を上げるように設計した H モード・ドリフトチューブ線形加速器を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 3 3 】

前述の通り、I H 型共振器の電圧分布は共振器全体の構造で決まるが、主にはドリフトチューブ間の容量で決まるといって良い。その容量分布により電圧分布の微細構造が決定されている。入射電圧分布をあげるため、入射部の最初の数個のギャップにおけるドリフトチューブ間容量をあげることで入射部の電圧調整を行うことができる。具体的には向かい合うドリフトチューブ間の容量をあげるため、

(1) ドリフトチューブ外径を大きくする

(2) ドリフトチューブ内径を小さくする

(3) ドリフトチューブの R を小さく取る

などが考えられる。一般にドリフトチューブ間の容量を増やすと共振器の性能を表すシャント抵抗や Q は低下するが、上記方法ではこれらに対する影響が殆どない。

【実施例 1】

【 0 0 3 4 】

図 1 に示した 7 2 ギャップモデルに対して、入射部の容量を上げるため、図 5 に示したように最初の 6 ギャップに関してドリフトチューブ外径を従来の 2 8 m m から 3 2 m m に変更した。

【 0 0 3 5 】

このモデルに関して 3 次元電磁場計算を行った結果を、図 1 と同様なグラフを示す図 6 において、曲線 B 1 で示す。曲線 A で示す軌道計算で求められた電圧分布に対して、入射部全体の電圧が上昇した他、入射部の最初の数個のギャップの電圧も局所的に増加している。

【 0 0 3 6 】

図 7 の曲線 D 1 は、図 2 と同様に、軌道計算で求められた電圧と電磁場計算で得られた

10

20

30

40

50

電圧の差をプロットしたものである。入射部の共振器径 r (図 3 参照) を絞ることで入射部全体の電圧を落とすことができる。また分布形状は変わらないことから、第 6 ギャップ以降は軌道計算で求められた電圧分布に合わせ込むことは可能であると思われる。

【実施例 2】

【0037】

次に、図 5 の実施例に対して、入射部の最初の 6 個のギャップのドリフトチューブ外側の曲率半径 R を 4.5 mm から 2 mm に変更してみた。その際の外觀図は、図 8 の通りである。

【0038】

上記モデルに関して電磁場計算を行い、その結果得られた電圧分布を、図 1 と同様なグラフを示す図 9 において、曲線 B 2 で示す。入射部分の電圧は全体的に増加し、また特に第 4 から第 6 のギャップの電圧が増加したようである。なお、図 9 において、曲線 A は、図 1 と同様に、軌道計算で求められた電圧分布を示す。

【0039】

軌道計算で求められた電圧と電磁場計算で得られた電圧の差を図 10 の曲線 D 2 としてプロットした。入射部の電圧は軌道計算で求められた電圧より 3 倍程高いが、前述のように電圧分布の形状は共振器径を変えても保たれるため、最初の 3 個のギャップを除いて軌道計算の電圧分布を合わせ込むことは可能である。

【0040】

以上の検討で、入射部のギャップ容量を増加させることで入射部の最初の数個のギャップの電圧を上げることは可能であることがわかった。ドリフトチューブ外側 R の取り方はドリフトチューブ間の放電限界に影響を与えるので、放電を起こさない範囲で小さくすることが可能である。ドリフトチューブ内側の R も同様である。

【実施例 3】

【0041】

これまで入射部の最初の 6 ギャップに関してドリフトチューブ断面積を多くしてドリフトチューブ間の容量を増加させてきた。その結果、入射部の電圧分布は改善したが、最初の 3 ギャップの電圧は依然下がったままである。そこで更に入射部に容量を集中させ高周波電流を導くため、入射部の最初の 4 ギャップのみのドリフトチューブ外径を増加させた図 11 に示すモデルを検討した。図 11 のモデルは、ドリフトチューブ外径が 38 mm、ドリフトチューブ外側の曲率半径 R が 4.5 mm のモデルである。

【0042】

上記モデルに関してドリフトチューブ外径を 32 mm から 38 mm まで変化させ、それぞれについて電磁場計算を行って、電圧分布を求めた。得られた電圧分布を、図 1 と同様なグラフを示す図 12 において、曲線 B 3、B 4、B 5、B 6 で示す。図 12 において、曲線 B 3、B 4、B 5、B 6 は、それぞれドリフトチューブ外径が 32 mm、34 mm、36 mm、38 mm の場合の電圧分布を示す。なお、図 12 において、曲線 A は、図 1 と同様に、軌道計算で求められた電圧分布を示す。これらの曲線からわかるように、前述したものと同様、入射部全体の電圧が増加するが、特に入射部の最初の数個のギャップの電圧も上げられるようである。

【0043】

また軌道計算で求められた電圧と電磁場計算で得られた電圧の差を、図 2 と同様に、図 13 の曲線 D 3、D 4、D 5、D 6 としてプロットした。図 13 において、曲線 D 3、D 4、D 5、D 6 は、それぞれドリフトチューブ外径が 32 mm、34 mm、36 mm、38 mm の場合の電圧差を示す。ドリフトチューブ外径を 38 mm にした際、入射側の電圧分布が比較的平坦になった。この際、入射部の共振器径を絞ることで最初の 3 ギャップを除いて軌道計算で求められた電圧分布に合わせ込むことが可能である。

【0044】

図 10 の場合、第 4 ギャップ以降で平坦となるが、入射部全体の電圧は軌道計算の電圧の 3 倍近くになっている。それに比べ、図 13 では、図 10 と同様に第 4 ギャップ以降で

10

20

30

40

50

平坦となるが、入射部の最初の４ギャップのドリフトチューブ径を大きくした方が、より効果的に入射部の最初の数個のギャップの電圧を増加させることが可能であると言える。しかしながら、依然として入射部の最初の３ギャップの電圧を増加させることはできていない。

【実施例４】

【００４５】

入射側ドリフトチューブ外径を３８ｍｍとした状態で共振器径を調整し、全体の電圧分布を軌道計算で求められた分布に合わせるように調整した。その結果、得られた電圧分布を図１と同様なグラフを示す図１４において、曲線Ｂ７として示す。なお、図１４において、曲線Ａは、図１と同様に、軌道計算で求められた電圧分布を示す。また、各ギャップにおける軌道計算の電圧と電磁場計算により得られた電圧の差を、図２と同様に、図１５に曲線Ｄ７としてプロットした。

10

【００４６】

図１５に示すように、第２０ギャップ付近で１０％程度の差が見られ、多少共振器径の調整が不完全であるが、更に調整すれば最初の３ギャップを除いて±５％以内にすることも可能である。ギャップ容量を増加させることで及びシャント抵抗 Z_{sh} の低下が予想される。表１は、ドリフトチューブ外径を変える前の従来の共振器と３８ｍｍに変えた後の共振器における Q 、シャント抵抗 Z_{sh} 並びに７０％ Q を仮定した際の所要電力 P をまとめたものである。 Q は４．４％低下が見られるが、シャント抵抗は２．５％程度の低下である。

20

【００４７】

表１

モデル	従来のモデル	変更後のモデル	差（％）
Q	１５５３８	１４８５６	－４．３９
Z_{sh} （ $M\Omega/m$ ）	１０５．４	１０２．８	－２．４７
P （ kW ）	３８４	３９４	２．６０

【００４８】

入射部の最初の数個のギャップの電力は、入射ドリフトチューブ径を大きくすることで上げることが可能である。また、懸念されるシャント抵抗の低下は、２．５％程度であるため、問題ない範囲である。

30

【図面の簡単な説明】

【００４９】

【図１】従来のＩＨ型線形加速器における軌道計算で求められた電圧分布と３次元電磁場計算で得られた電圧分布を示すグラフである。

【図２】図１における軌道計算で求められた電圧分布と３次元電磁場計算で得られた電圧分布との各ギャップにおける電圧差を示すグラフである。

【図３】従来のＩＨ型線形加速器の概略縦断面図である。

【図４】ＡＰＦ収束方式のＩＨ型線形加速器におけるドリフトチューブ間の容量分布の様子を示すグラフである。

40

【図５】本発明の第１実施例によるＩＨ型線形加速器の概略斜視図である。

【図６】図５のＩＨ型線形加速器における軌道計算で求められた電圧分布と３次元電磁場計算で得られた電圧分布を示すグラフである。

【図７】図６における軌道計算で求められた電圧分布と３次元電磁場計算で得られた電圧分布との各ギャップにおける電圧差を示すグラフである。

【図８】本発明の第２実施例によるＩＨ型線形加速器の概略斜視図である。

【図９】図８のＩＨ型線形加速器における軌道計算で求められた電圧分布と３次元電磁場計算で得られた電圧分布を示すグラフである。

【図１０】図９における軌道計算で求められた電圧分布と３次元電磁場計算で得られた電

50

圧分布との各ギャップにおける電圧差を示すグラフである。

【図 1 1】本発明の第 3 実施例による I H 型線形加速器の概略斜視図である。

【図 1 2】図 1 1 の I H 型線形加速器においてドリフトチューブ外径を様々に変更した場合における軌道計算で求められた電圧分布と 3 次元電磁場計算で得られた電圧分布を示すグラフである。

【図 1 3】図 1 2 における軌道計算で求められた電圧分布と 3 次元電磁場計算で得られた電圧分布との各ギャップにおける電圧差を示すグラフである。

【図 1 4】本発明の第 4 実施例による I H 型線形加速器における軌道計算で求められた電圧分布と 3 次元電磁場計算で得られた電圧分布を示すグラフである。

【図 1 5】図 1 4 における軌道計算で求められた電圧分布と 3 次元電磁場計算で得られた電圧分布との各ギャップにおける電圧差を示すグラフである。 10

【図 1 6】従来の C H 型線形加速器の概略図である。

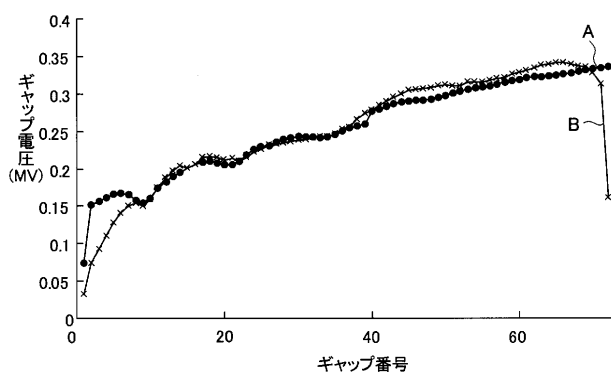
【符号の説明】

【 0 0 5 0 】

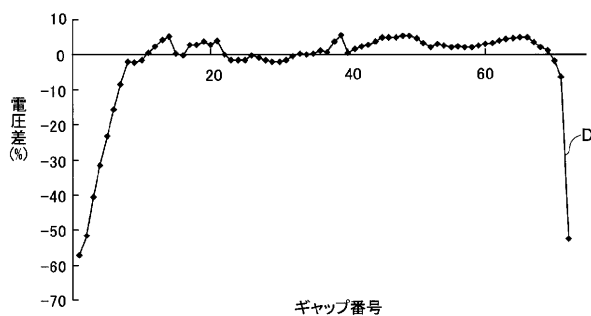
- 1、10 共振器
- 2 リッジ
- 3 ステム
- 4 ドリフトチューブ
- 5 ギャップ
- 6 入射端のドリフトチューブ
- 7 入射単板
- r 共振器径
- R 曲率半径

20

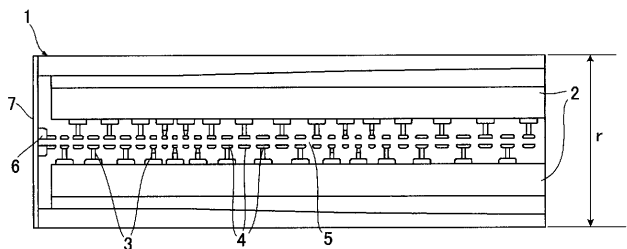
【図 1】



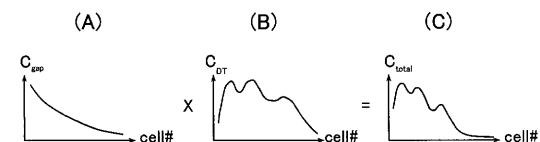
【図 2】



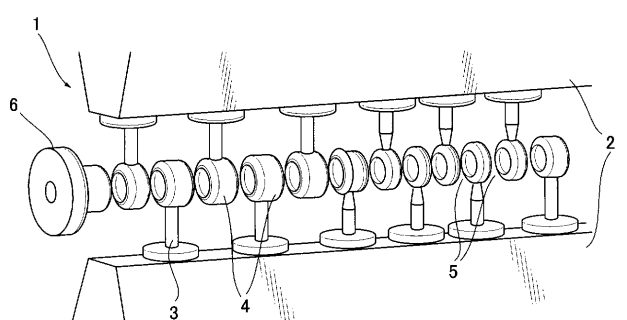
【図 3】



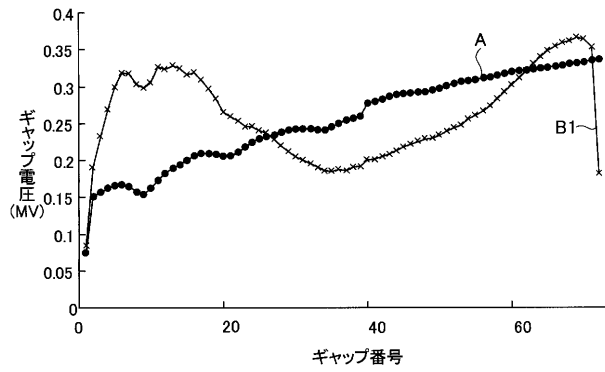
【図 4】



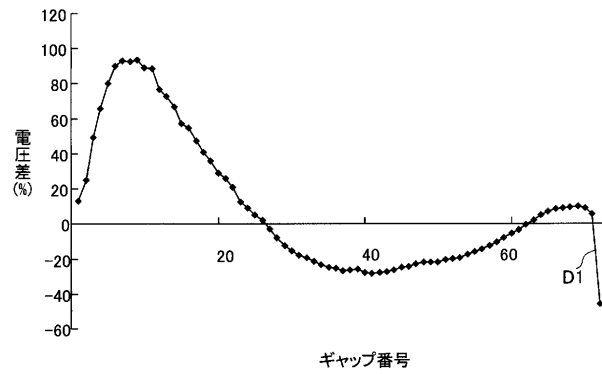
【図 5】



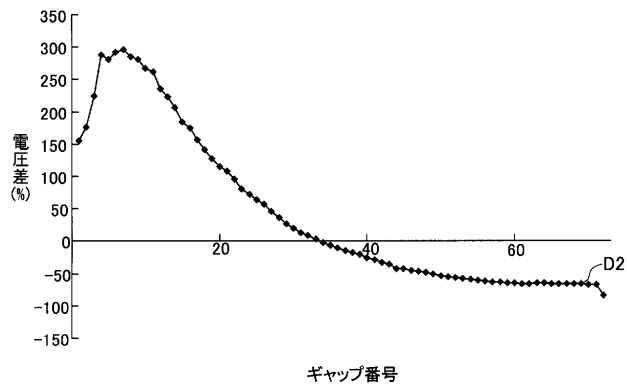
【図 6】



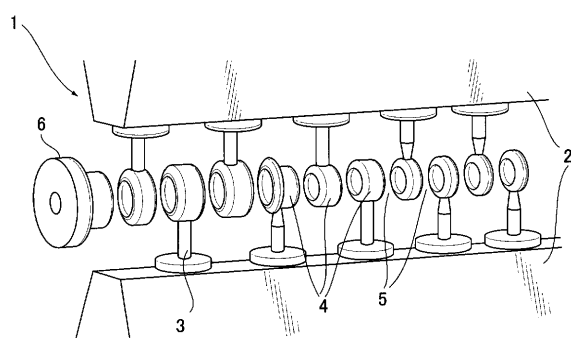
【図 7】



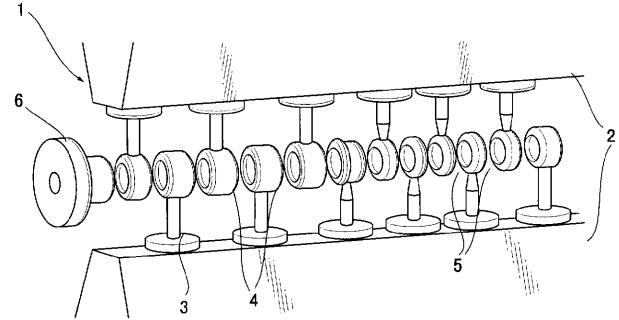
【図 10】



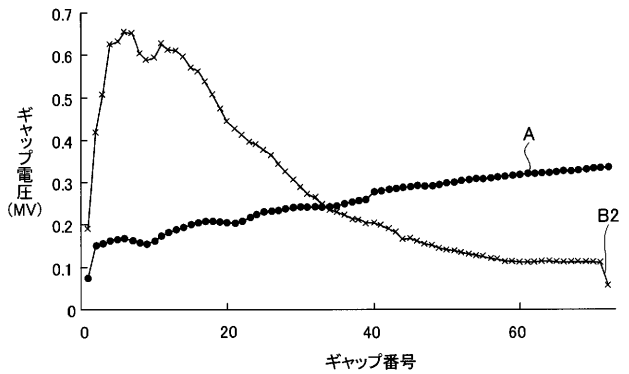
【図 11】



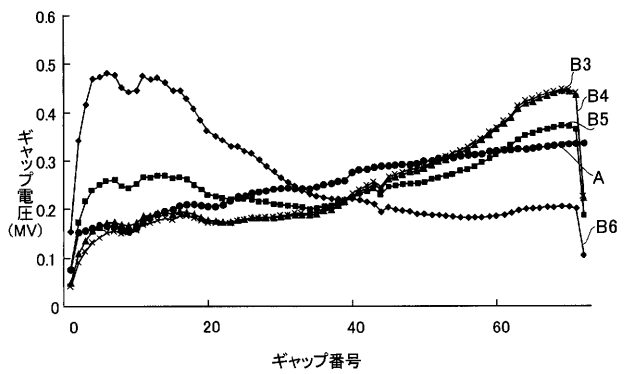
【図 8】



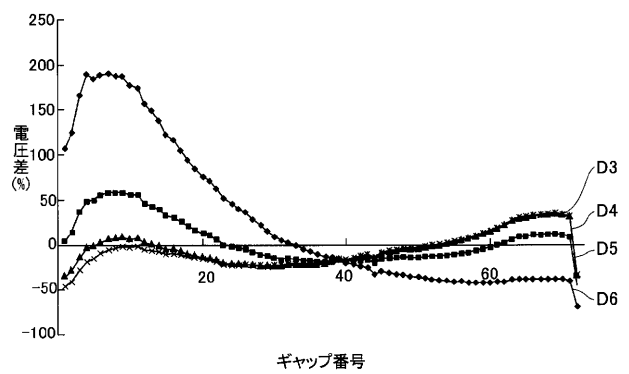
【図 9】



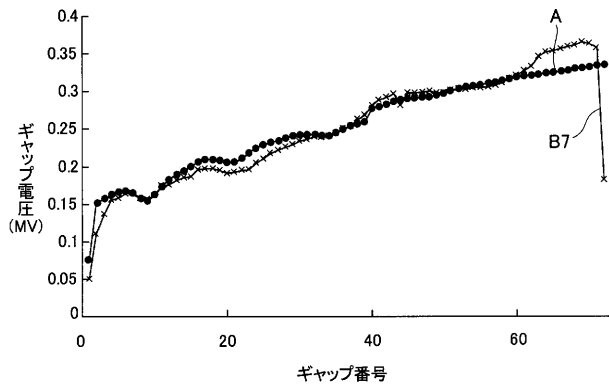
【図 12】



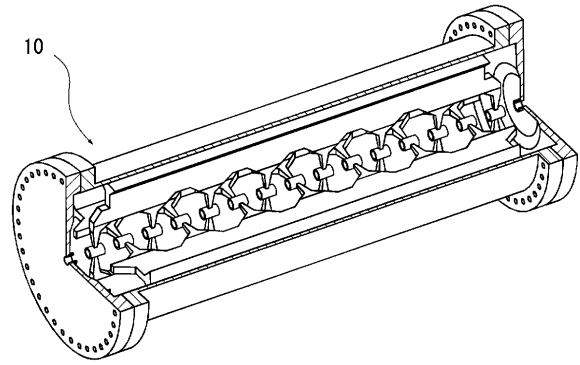
【図 13】



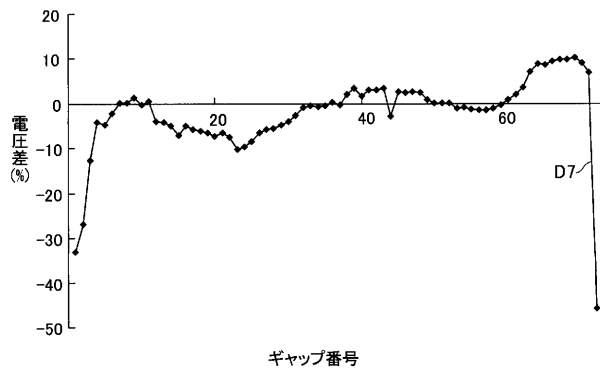
【図 1 4】



【図 1 6】



【図 1 5】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 聡

千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内

Fターム(参考) 2G085 AA04 BA06 CA11